令和８年度前期日程入学試験学力検査問題

令和８年２月25日

理　　科

物　理……４～23ページ，化　学……24～43ページ
生　物……44～63ページ，地　学……64～73ページ

志望学部	試験科目	試験時間
経済学部(理系) 理学部 農学部	物理，化学，生物，地学のうちから２科目選択	13：30～16：00 (150分)
医学部 歯学部	物理，化学，生物のうちから２科目選択	
薬学部 工学部	物理(指定)，化学(指定)	

注　意　事　項

1. **試験開始の合図があるまで，この問題冊子，解答用紙を開いてはいけない。**
2. この問題冊子は，73ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。ただし，冊子の留め金を外したり，ページを切り離しては使用しないこと。なお，ページの脱落，印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は，必ず**黒鉛筆**(シャープペンシルも可)で記入し，ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. **解答用紙の受験記号番号欄(１枚につき２か所)には，忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。**
5. 解答は，必ず選択した科目の**解答用紙の指定された箇所**に記入すること。
6. **解答用紙を持ち帰ってはいけない。**
7. 試験終了後，この問題冊子は持ち帰ること。

―――このページは白紙―――

―――このページは白紙―――

物　　理

1　図1のように，水平でなめらかな床の上に，床に固定された壁(固定壁)と接するように質量 M の直方体の箱が置かれている。箱の内側には水平面に対して角度 θ をなす斜面 AB があり，水平面 BC となめらかに接続している。点 A と点 B，点 B と点 C の水平方向の距離はいずれも L である。箱の中には質量 m の小球があり，斜面 AB および水平面 BC の上をなめらかに運動することができる。

重力加速度の大きさを g とし，小球，床，固定壁それぞれと箱との間の摩擦，小球の大きさ，箱の変形，空気による抵抗は無視できるものとして，以下の問(1)，(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も説明せよ。

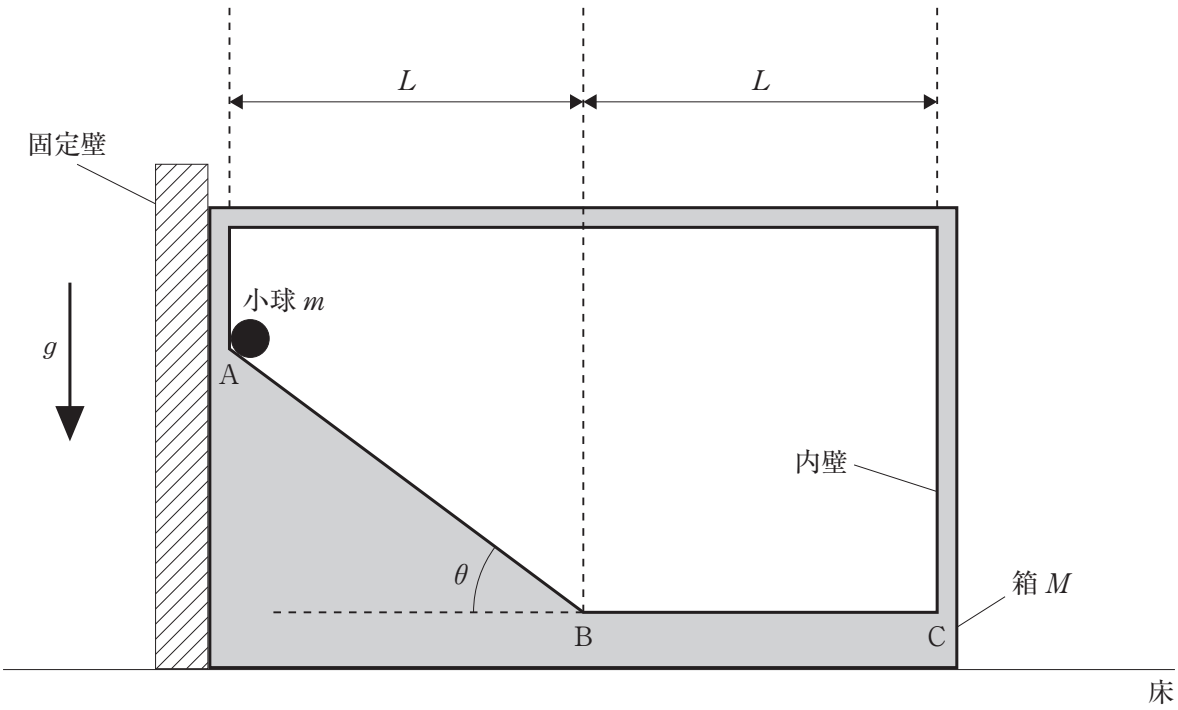


図1

問(1)　箱と固定壁が接した状態で，小球を斜面の上端(点 A の位置)で静止させ，静かにはなしたところ，小球は斜面 AB および水平面 BC から離れることなく運動し，点 C に到達した。

(a)　小球が斜面 AB 上にあるとき，小球が斜面から受ける力の大きさ N を，m，g，θ を用いて表せ。

(b)　小球が斜面 AB 上にあるとき，固定壁が箱に水平右向きに及ぼす力の大きさ F を，m，M，g，θ の中から必要なものを用いて表せ。

(c)　点 C に到達する直前の小球の速さを v_0 とする。v_0 を，m，g，θ，L の中から必要なものを用いて表せ。

(d)　点 C に到達した小球は箱の内壁に衝突した。衝突の反発係数を $e(e < 1)$ とするとき，衝突直後の小球の速度 v_1 および箱の速度 V_1 を，m，M，v_0，e を用いて表せ。ただし，衝突により箱の底面が床から離れることはないものとし，速度の向きは水平右向きを正とする。

(e)　小球が箱の内壁に衝突した後，箱は固定壁を離れ，小球は水平面 BC を通過して斜面 AB をのぼっていった。水平面 BC を基準とする小球の高さの最大値 h を，m，M，v_0，e，g，L の中から必要なものを用いて表せ。ただし，箱と固定壁が衝突することはないものとしてよい。

問(2)　図２のように，底面を床に接したまま，箱が水平右向きに一定の加速度 a($a > 0$)で運動するようにした。運動する箱の中で，小球を斜面の上端(点 A の位置)で箱に対して静止させ，静かにはなしたところ，小球は斜面 AB および水平面 BC から離れることなく運動し，点 C に到達した。

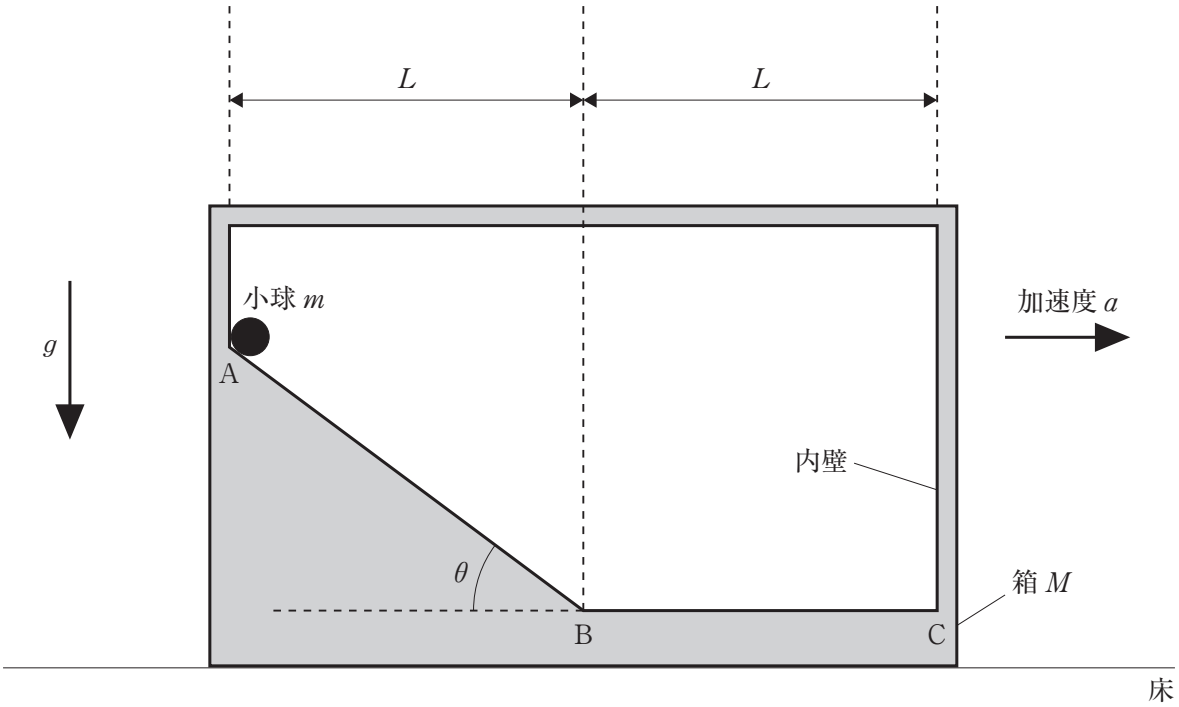


図２

(a) 小球が斜面 AB 上にあるとき，箱とともに動く人から見た小球にはたらくすべての力を，解答用紙の所定欄に図示せよ。解答では，力の向きを小球を始点とする矢印で表し，矢印のそばにそれぞれの力の名称を記すこと。

(b) 箱とともに動く人から見て，小球が点 A から点 C に到達するまでに小球にはたらく力がした仕事の総和 W を，仕事の定義にもとづいて求め，m，M，g，a，θ，L の中から必要なものを用いて表せ。

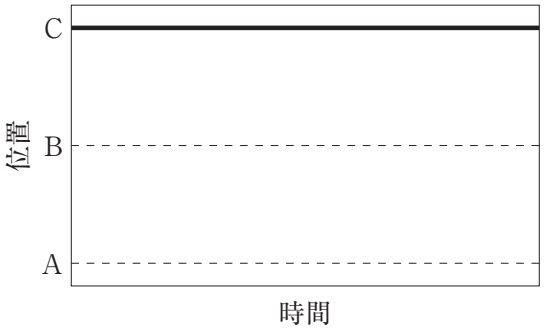
(c) 箱とともに動く人から見た，点 C に到達する直前の小球の速さを v_0' とする。運動エネルギーの変化と仕事の関係を使って，v_0' を，m，M，g，a，θ，L の中から必要なものを用いて表せ。

(d) 小球が点 C に到達するためには，a の値がある値 a_0 以下でなければならない。a_0 を，m，M，g，θ，L の中から必要なものを用いて表せ。

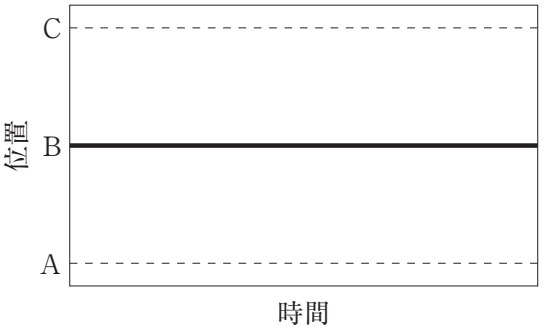
点 C に到達した小球は箱の内壁と反発係数 e($e < 1$)で衝突した。

(e) 十分に長い時間が経過した後の，箱とともに動く人から見た小球の位置と時間の関係を表すグラフとして最も適当なものを，図 3 の(あ)〜(え)の中から一つ選び，記号で答えよ。また，その記号を選んだ理由を説明せよ。図の縦軸は，小球の水平方向の位置を表している。

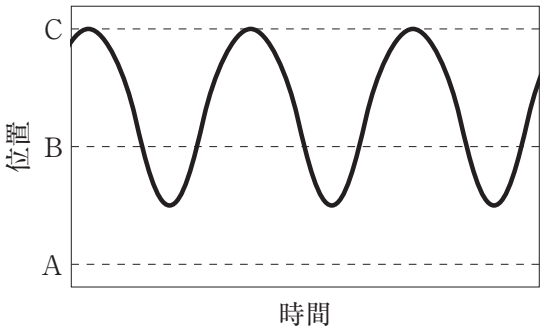
(あ)



(い)



(う)



(え)

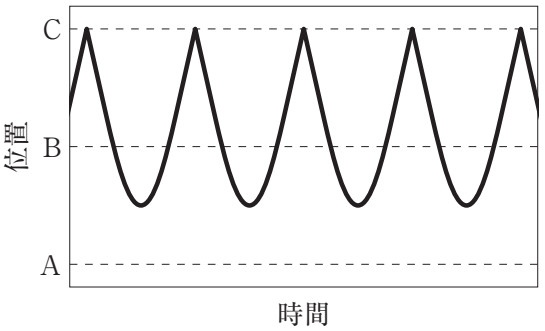


図 3

———このページは白紙———

2 真空中の荷電粒子の運動について考える。荷電粒子の運動に伴う自己誘導や相互誘導の影響は無視する。重力の影響も無視できるものとする。真空の透磁率を μ_0 とする。以下の問(1), (2) に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も説明せよ。

問(1) 図1のように単位長さあたりの巻数 n で半径 R のソレノイド(円筒状コイル)があり，電流 I ($I > 0$)が矢印の向きに流れている。ソレノイドの長さは半径 R に比べて十分に長い。ソレノイドの中心軸 AA′上の点 O を原点として，中心軸に沿って z 軸を，z 軸に直交するように x 軸，y 軸をとる。点 O はソレノイドの内部にあり，ソレノイドの両端から十分に遠く離れている。図2に A′から見た断面図を示す。

(a) ソレノイドの内部における磁束密度の大きさ B を，μ_0，n，I，R の中から必要なものを用いて表し，磁束密度の向きを，(あ) z 軸の正の向き，(い) z 軸の負の向き，から選び記号で答えよ。解答は結果のみでよい。

(b) 図2のように，荷電粒子(質量 m，電荷 q ($q > 0$))を点 O から x 軸の正方向に速さ v_0 で放出したところ，荷電粒子は等速円運動を始めた。円運動の半径を r，周期を T，および円運動の中心 P の座標を $(X, Y, 0)$ とする。r，T，X，Y を，それぞれ，v_0，q，m，B の中から必要なものを用いて表せ。

(c) 荷電粒子がソレノイドに衝突しないためには，電流 I がある値 I_0 より大きい必要がある。I_0 を，μ_0，v_0，q，m，n，R を用いて表せ。

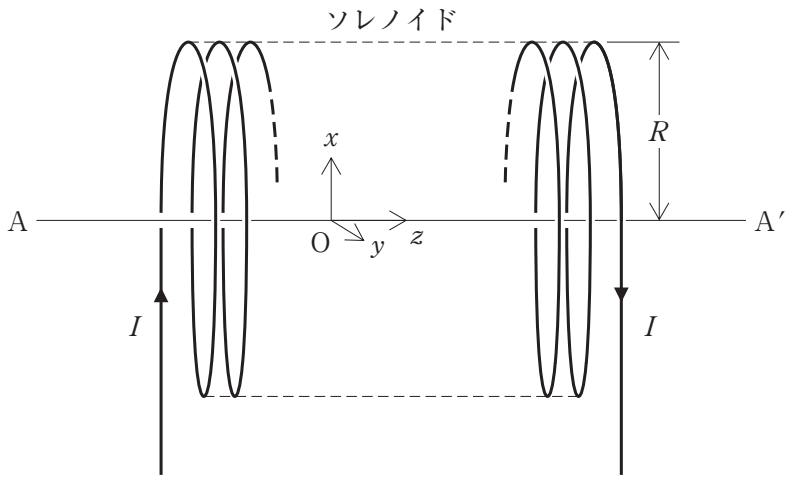


図 1

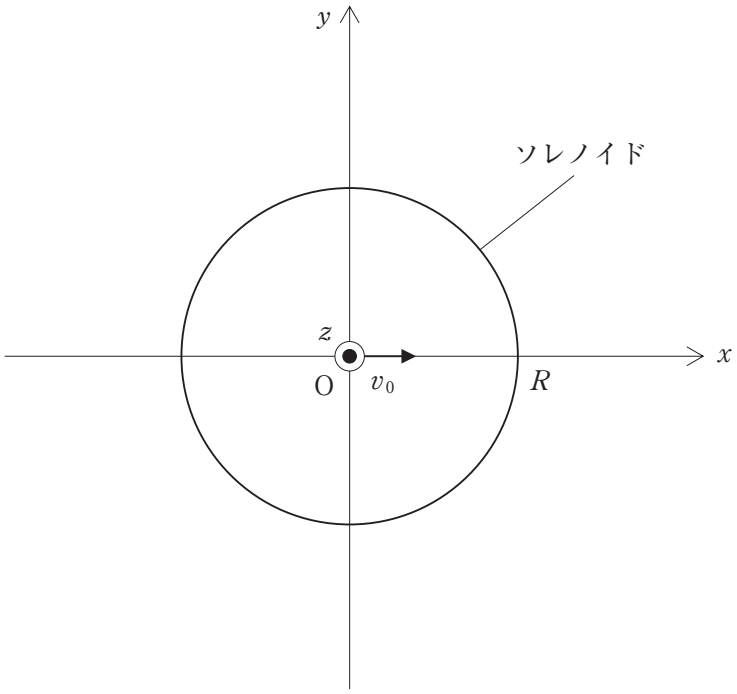


図 2

原点Oから荷電粒子1（質量 m，電荷 $q(q > 0)$）と荷電粒子2（質量 $3m$，電荷 $2q$）を同時に，同じ速さ v_0 で放出した。放出角度は，図3に示すように，荷電粒子1は z 軸から x 軸の正方向に θ で，荷電粒子2は z 軸から x 軸の負方向に θ であった。2個の荷電粒子間にはたらく静電気力は無視できるものとする。

(d) 2個の荷電粒子の速度の z 成分が一定になる理由を述べよ。

(e) 荷電粒子を放出したときから2個の荷電粒子が初めて衝突するまでの時間 T' と，衝突する点P′の座標 (X', Y', Z') を，v_0，θ，q，m，B の中から必要なものを用いて表せ。ここで，2個の荷電粒子は，ソレノイドに衝突することなく運動するものとしてよい。

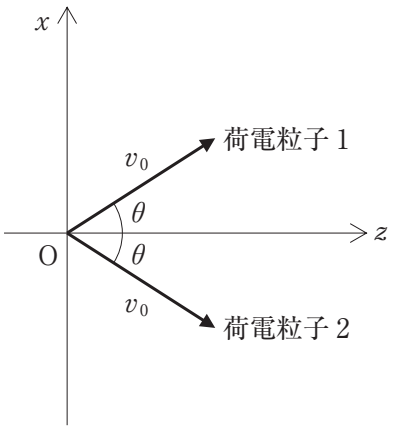


図 3

問(2)　次に，一様な電場(電界)と一様な磁束密度の影響を受ける荷電粒子の運動を考える。図4のように点O′を原点とする座標軸(x, y, z)を設定する。電場はy軸の正の方向に，磁束密度はz軸の正の方向(紙面裏から表)に向いている。大きさは，それぞれ，EとBとする。時刻$t = 0$に荷電粒子(質量m，電荷$q(q > 0)$)を点O′から静かにはなしたところ，荷電粒子はy軸の正の方向に運動し始め，xy平面内を運動した。

(a)　荷電粒子の速度のx成分，y成分をそれぞれv_x，v_yとするとき，荷電粒子が受ける力のx成分F_xとy成分F_yを，それぞれ，v_x，v_y，q，m，E，Bの中から必要なものを用いて表せ。

(b)　微小時間Δtの間に，荷電粒子の位置が(x, y)から$(x + \Delta x, y + \Delta y)$に変化したとすると，速度$(v_x, v_y)$は$\left(\dfrac{\Delta x}{\Delta t}, \dfrac{\Delta y}{\Delta t}\right)$と表される。また，微小時間$\Delta t$の間に，荷電粒子の速度が$(v_x, v_y)$から$(v_x + \Delta v_x, v_y + \Delta v_y)$に変化したとすると，加速度$(a_x, a_y)$は$\left(\dfrac{\Delta v_x}{\Delta t}, \dfrac{\Delta v_y}{\Delta t}\right)$と表される。運動方程式を用いると$\Delta v_x$は，ある定数$c$を使って$\Delta v_x = c\Delta y$と書ける。$c$を，$q$，$m$，$B$を用いて表せ。

(c)　問(2)(b)の結果とエネルギー保存則を用いて，荷電粒子のy座標の最大値y_1を，q，m，E，Bを用いて表せ。

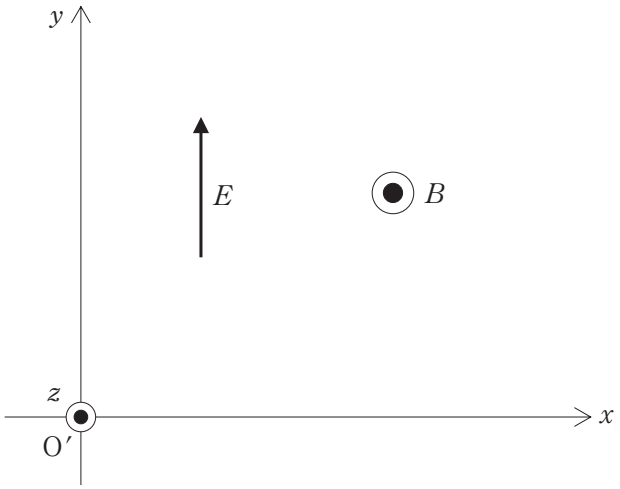


図 4

3 回折格子による光の干渉について，以下の問(1)，(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も説明せよ。なお，$|x| \ll 1$ となる微小量 x に対しては，$\sin x \fallingdotseq x$ の近似を用いよ。

問(1) 図1に示すように，多数のスリット S_k(k は整数)が等間隔 d で並んだ回折格子が大気中に置かれている。位相のそろった波長 λ の平行光線を，回折格子の面に垂直に入射させ，回折格子と平行に置かれたスクリーンで回折光を観測する。回折格子へ入射する光の進行方向と回折光の進行方向のなす角(回折角)を $\theta\left(-\dfrac{\pi}{2} < \theta < \dfrac{\pi}{2}\text{，単位はラジアン}\right)$ とする。回折格子とスクリーンとの距離は，d，λ に比べて十分に大きいため，各スリットからスクリーン上の一点に達する光の光路は互いに平行とみなすことができる。大気の屈折率は1とする。

(a) 回折角 θ でスクリーンに達する光のうち，S_0 を通る光と S_1 を通る光の光路差 $\Delta\ell$ を，d，θ を用いて表せ。

(b) 図2は，$|\theta| \ll 1$ の範囲で，θ に対する回折光の強さの分布を示したものである。明線が生じる回折角を，$\theta_m = m\alpha$ (m は整数，α は正の定数)と表す。α を，λ，d を用いて表せ。

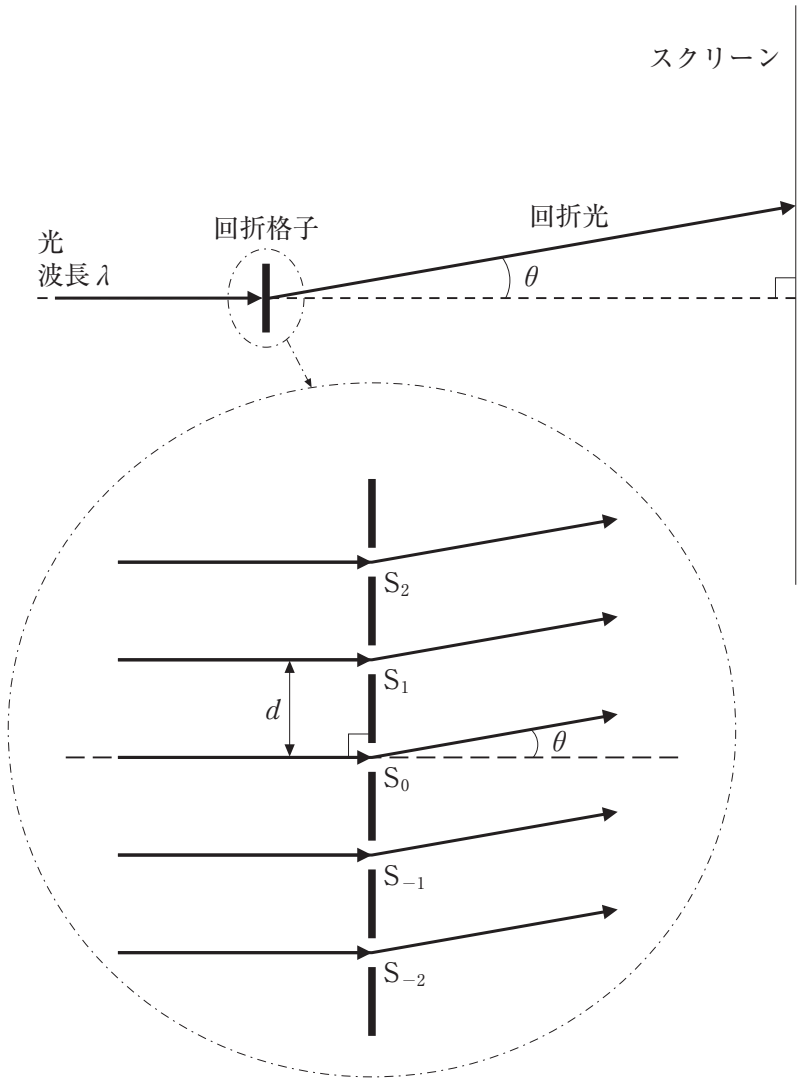


図 1

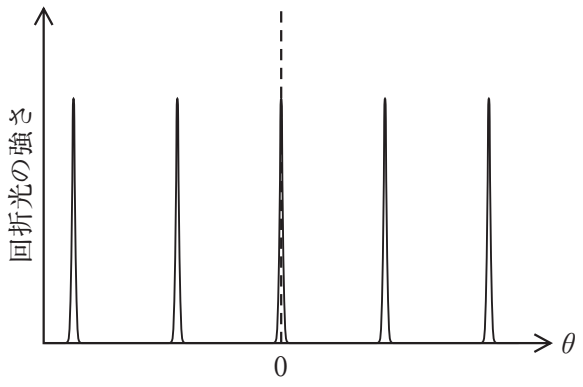


図 2

問(2)　図3のように，厚さ a，屈折率 $n(n > 1)$ のガラス平板に，一定の間隔 $2d$ で深さ $b(b < a)$ の平坦な溝をつけ，図1と同じ回折格子に接して置く。ガラス平板の溝を通った光は奇数番号のスリット S_{2k+1}（k は整数）に入射し，ガラス平板の溝を通らなかった光は偶数番号のスリット S_{2k} に入射する。光はガラス平板の内部を直進し，ガラス表面での反射やガラス内部での減衰の影響は無視できるものとする。

ガラス平板を取り付けた回折格子は，奇数番目のスリット S_{2k+1} からなる間隔 $2d$ の回折格子1と，偶数番目のスリット S_{2k} からなる間隔 $2d$ の回折格子2を組み合わせたものとして考えることができる。以下の問(a)〜(g)には $|\theta| \ll 1$ として答えよ。

(a)　仮に，回折格子1のみがあったときに明線が生じる回折角を θ'_m とする。問(1)(b)と同様にして，$\theta'_m = m\alpha'$（m は整数，α' は正の定数）と表す。α' を，λ，d を用いて表せ。

(b)　$\theta = \theta'_m$ でスクリーンに達する光のうち，S_0 を通る光と S_1 を通る光の光路差 $\Delta\ell'$ を，d，λ，a，b，n，m の中から必要なものを用いて表せ。

(c)　回折格子1による回折光と回折格子2による回折光が，$\theta = 0$ で強め合う場合を考える。$\theta = \theta'_m$ が明線となる正の m の値を，小さい順に3つ答えよ。

(d)　回折格子1による回折光と回折格子2による回折光が，$\theta = 0$ で弱め合う場合を考える。$\theta = \theta'_m$ が明線となる正の m の値を，小さい順に3つ答えよ。

光は電磁波の一種であり，電場(電界)と磁場(磁界)の振動が波として空間を伝わるものである。回折光の電場は紙面垂直方向に振動する横波とする。

(e) 回折角 θ'_m での回折光の電場を考える。回折格子 2 を通った光のスクリーン上での電場の時間変化が，$E_2 = A\sin\omega t$ と表されるとき，回折格子 1 を通った光のスクリーン上での電場の時間変化は，$E_1 = A\sin(\omega t + \phi)$ と表すことができる。t は時刻，ω，A は正の定数である。ϕ の大きさを，λ および問(2)(b)の $\Delta\ell'$ を用いて表せ。

(f) E_1 と E_2 を重ねあわせた電場の時間変化は，$E' = A'\sin(\omega t + \phi')$ と表すことができる。A' と ϕ' を，A，ϕ を用いて表せ。ここで，必要に応じて，$\sin X + \sin Y = 2\sin\dfrac{X+Y}{2}\cos\dfrac{X-Y}{2}$ の関係を用いよ。

(g) $n = 1.5$，$a = 2\lambda$，$b = \dfrac{1}{2}\lambda$ のガラス平板を用いたときの回折光の強さと θ の関係を表すグラフとして最も適切なものを，図 4 の(ア)～(カ)の中から 1 つ選び，記号で答えよ。また，その記号を選んだ理由を説明せよ。なお，光の強さは電場の振幅の 2 乗に比例することが知られている。図 4 の(ア)は図 2 と同じグラフである。

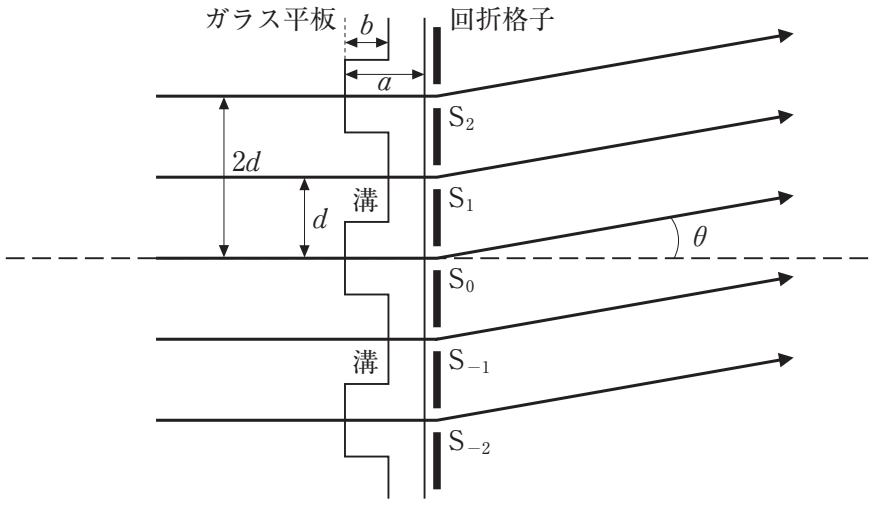


図 3

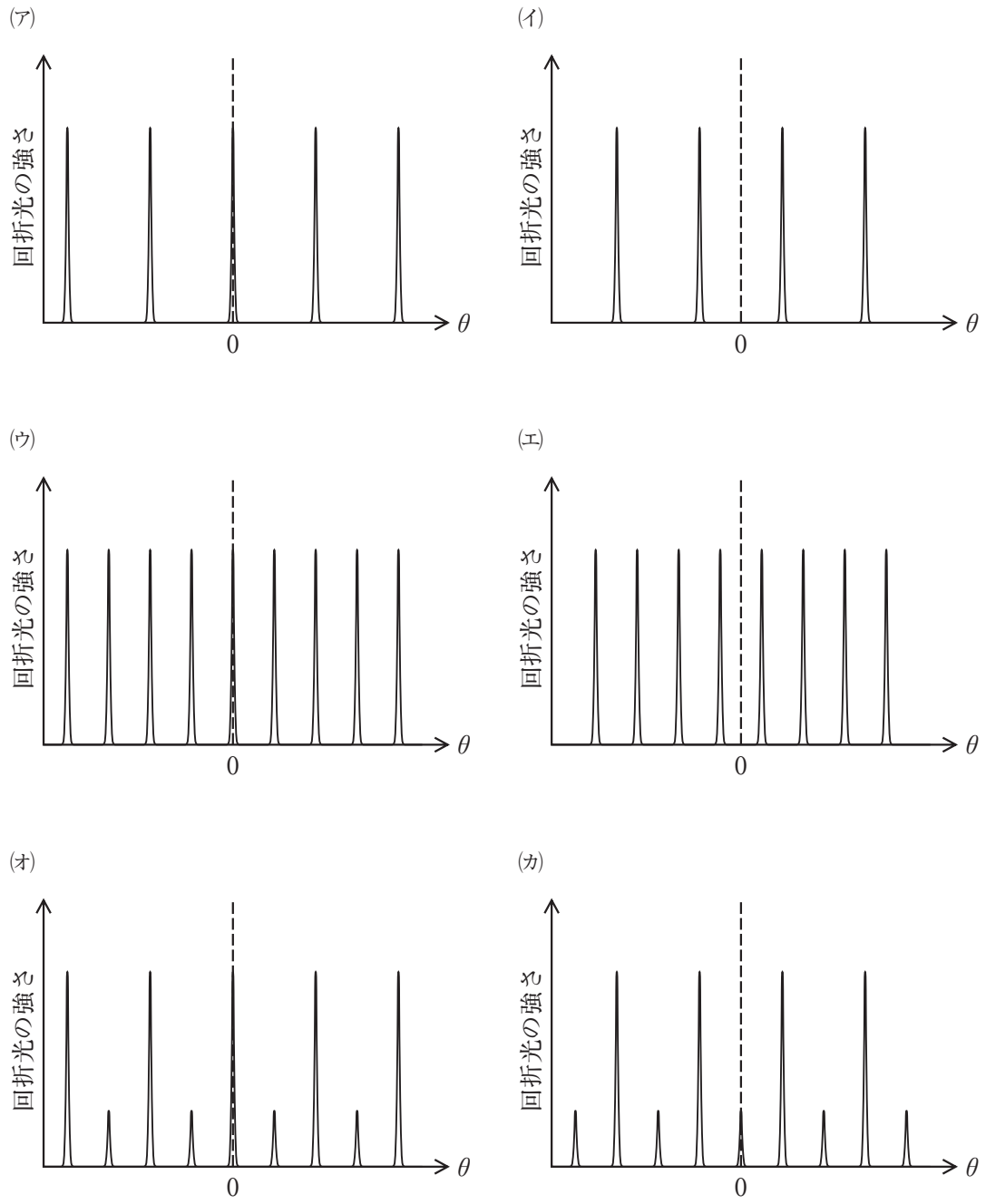

(ア)
回折光の強さ
θ
0
(イ)
回折光の強さ
θ
0
(ウ)
回折光の強さ
θ
0
(エ)
回折光の強さ
θ
0
(オ)
回折光の強さ
θ
0
(カ)
回折光の強さ
θ
0

図 4

―――このページは白紙―――

―――このページは白紙―――

———このページは白紙———

化　　学

計算のために必要な場合には，次の数値を使用せよ。

原子量　H = 1.0　C = 12.0　O = 16.0　Si = 28.1　Br = 79.9

25 ℃ における水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}(\mathrm{mol/L})^2$

ファラデー定数　$9.65 \times 10^4\ \mathrm{C/mol}$

以下では，0 ℃，1.013×10^5 Pa を気体の標準状態とし，標準状態にある理想気体のモル体積は，22.4 L/mol とする。

1　次の文章〔Ⅰ〕と〔Ⅱ〕を読み，問 1 から問 7 に答えよ。

〔Ⅰ〕 多くの元素には，原子番号が等しく，原子核内の中性子の数が異なる同位体が存在する。同位体の中には，放射線を出さない安定同位体と，原子核が不安定で放射線を放出し，別の原子核に変化する放射性同位体がある。安定同位体の中には，物質の構造や性質を調査する上で重要なものがあり，特定の質量数の同位体を濃縮する技術の開発も進められている。

問 1　酸素の同位体である質量数 17 の酸素 ^{17}O の原子核は，^{16}O の原子核と異なり，ごく小さな磁石としての性質をもっており，核磁気共鳴分光法により検出できる。しかしながら，自然界の物質中に含まれる酸素の大半は ^{16}O（相対質量：16.0）であり，^{17}O（相対質量：17.0）の存在比は極めて低い。そのため，核磁気共鳴分光法を用いて，さまざまな組成をもつケイ酸塩ガラスに含まれる酸素原子の置かれた化学環境を調べたい場合，原料として ^{17}O の存在比の高い二酸化ケイ素 SiO_2 などを利用し，ケイ酸塩ガラスを合成する必要がある。

(1) ^{17}O の存在比が高い SiO_2 を合成するため，四塩化ケイ素 $SiCl_4$ に対して ^{17}O の存在比が 80.0 % の水 H_2O(^{17}O：80.0 %)を適切な条件で反応させると，^{17}O の存在比が 80.0 % の二酸化ケイ素 SiO_2(^{17}O：80.0 %) 12.34 g と塩化水素 HCl のみが生成した。反応に用いた H_2O(^{17}O：80.0 %)の質量〔g〕を求め，その数値を有効数字 3 桁で書け。ただし，加えた H_2O(^{17}O：80.0 %)はすべて反応に使われたものとし，H_2O を構成する酸素は ^{16}O と ^{17}O のみであるとする。

(2) (1)で合成した SiO_2(^{17}O：80 %)と炭酸ナトリウム Na_2CO_3(^{17}O：0 %)を 2：1 の物質量比で混合し，高温で溶融後に冷却したところ，^{17}O 存在比が高いケイ酸塩ガラス $Na_2Si_2O_5$ と ^{17}O を含まない二酸化炭素 CO_2 のみが得られた。得られた $Na_2Si_2O_5$ における ^{17}O 存在比〔%〕を求め，その数値を有効数字 2 桁で書け。ただし，合成過程での ^{17}O の総物質量の変化はないものとし，反応物中の酸素は ^{17}O および ^{16}O のみであるとする。

(3) SiO_2(^{17}O：100 %)とNa_2CO_3(^{17}O：100 %)をある物質量比で混合し，高温で溶融後に冷却したところ，ケイ酸塩ガラスが得られた。同ケイ酸塩ガラスは，図1の模式図に示す −Si−O−Si− 骨格を持つ直鎖状構造を有していた。得られたガラスについて，^{17}O の核磁気共鳴分光分析を行ったところ，異なる環境に置かれた ^{17}O に対応した2種類の ^{17}O の信号1および信号2が観測された。信号1は2つのケイ素原子と結合した酸素(Si−O−Si)の信号である。信号2はケイ素原子およびナトリウム原子と結合した酸素($Si-O^-Na^+$)による信号である。信号1と信号2の強度比は2：5であり，各信号の強度比はそれぞれの酸素の存在比と等しいとする。このとき，直鎖状構造に含まれる平均ケイ素原子数 n を求め，その数値を整数で解答欄に書け。なお，同ガラスの ^{17}O の存在比は100 % であり，ガラスは直鎖状構造のみで構成されているとする。

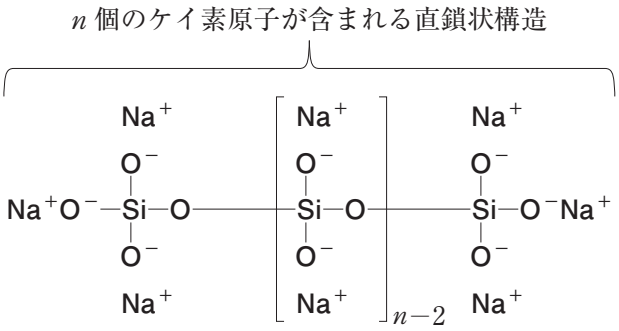


図1

(4) (2)のケイ酸塩ガラス $Na_2Si_2O_5$ の合成に関連して，二酸化ケイ素 SiO_2 と炭酸ナトリウム Na_2CO_3 を 2：1 の物質量比で混合し，加熱するとケイ酸ナトリウム $Na_2Si_2O_5$ の液体が得られる。この反応で，$Na_2Si_2O_5$(液) 1 mol が生成するときのエンタルピー変化 ΔH〔kJ〕を下記のデータを用いて計算し，その数値を正負がわかるように符号付きの整数で書け。なお，同反応の生成物は $Na_2Si_2O_5$(液)と CO_2(気)のみとする。

Na_2O(固) + 2 SiO_2(固) → $Na_2Si_2O_5$(液)　　$\Delta H = -2593$ kJ

Na_2O(固) + CO_2(気) → Na_2CO_3(液)　　$\Delta H = -1269$ kJ

なお，ここでは酸素の同位体の違いは反応のエンタルピー変化 ΔH に影響を与えないこととする。

問 2　アボガドロ定数は，物質 1 mol あたりに含まれる原子や分子の数であり，対象とする物質のモル質量と原子 1 個の質量からその値を実験的に確認することができる。アボガドロ定数を高精度に評価するため，質量数 12 の炭素 $^{12}\mathrm{C}$（相対質量：12）のみで構成されるダイヤモンドの結晶を作製した。図 2 は，ダイヤモンドの結晶の単位格子を示しており，1 辺の長さが a〔cm〕である。

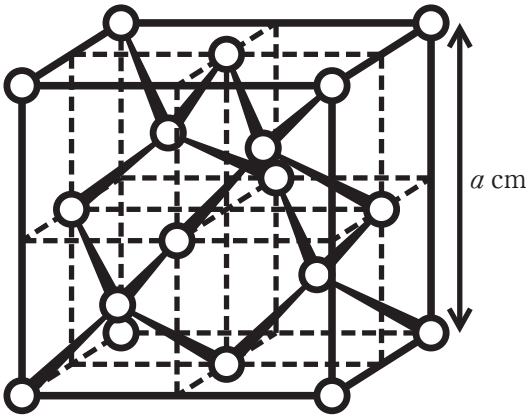


図 2

(1)　単位格子内に含まれる炭素原子の数 m を求め，その数値を整数で書け。

(2)　ダイヤモンドの密度を d〔g/cm^3〕としたとき，アボガドロ定数〔/mol〕を a，d，および m を用いて表せ。

問 3　放射性同位体に関する以下の (a) から (d) の記述の中から，正しいものをすべて選び，解答欄の記号を○で囲め。

(a)　放射性同位体の半減期は，同一の同位体であっても置かれた化学環境によって大きく変化する。

(b)　放射性同位体が α 壊変すると，原子番号および質量数が減少する。

(c)　放射性同位体が β 壊変すると，原子番号および質量数が減少する。

(d)　α 線，β 線，γ 線の中で透過力の最も高い放射線は γ 線である。

〔Ⅱ〕 海水中には，カルシウムイオン Ca^{2+} と炭酸イオン CO_3^{2-} が存在しており，これらのイオンは直接反応して炭酸カルシウム $CaCO_3$ となって海底に堆積したり，サンゴなどの海洋生物の骨格や殻となったりする。$CaCO_3$ の生成は，海洋における二酸化炭素 CO_2 の固定や貯蔵に重要な役割を果たしている。

海水中の Ca^{2+} イオンの濃度は一定であるとみなすと，海水中の $CaCO_3$ の溶解性は CO_3^{2-} イオンの濃度に依存することになる。海水中の CO_3^{2-} イオンの濃度に影響を与える因子として，大気中の二酸化炭素分圧や海水の温度，pH などについて検討することは，環境の保全のために重要である。

炭酸カルシウムの溶解性と pH の関係を調べるために，a) 25 ℃ の純水に過剰量の $CaCO_3$ を加えてよく混合したところ，溶けきれずに一部沈殿した。ここでは，①式に示した $CaCO_3$ の溶解平衡が成り立っている。

$$CaCO_3(固) \rightleftharpoons Ca^{2+} + CO_3^{2-} \qquad ①$$

このとき，b) 生成した CO_3^{2-} の一部は，水 H_2O と反応して HCO_3^- となり(②式)，この反応を塩の加水分解という。さらに，③式で示した HCO_3^- と H_2O の反応も起こるが，その割合はわずかである。

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + OH^- \qquad ②$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^- \qquad ③$$

H_2CO_3[注)]，HCO_3^- および CO_3^{2-} の濃度の総和を全炭酸濃度 C〔mol/L〕とすると，C は④式で表される。

$$C = [H_2CO_3] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] \qquad ④$$

ここで，[A]は物質 A のモル濃度〔mol/L〕を表す。

[注)]水溶液中の水和した CO_2 と H_2CO_3 は，まとめて H_2CO_3 と表すこととする。

炭酸イオン濃度[CO_3^{2-}]の全炭酸濃度 C に占める割合を $X_{CO_3^{2-}}$，H_2CO_3 の第一電離定数を K_1，第二電離定数を K_2 とする。このとき，$X_{CO_3^{2-}}$ を K_1，K_2，および[H^+]を用いて表すと⑤式のようになる。

$$X_{CO_3^{2-}} = \frac{[CO_3^{2-}]}{C} = \frac{K_1K_2}{\boxed{\text{ア}}} \qquad ⑤$$

なお，以下の問4から問7に答えるにあたっては，大気中の CO_2 の水への溶解は考慮しなくてよいこととする。

問 4　下線部 a)のような $CaCO_3$ の沈殿を含む水溶液に CO_2(気)を吹き込むと沈殿が溶解する反応が起こる。その反応を，イオンを含まない化学反応式で書け。ただし，物質の状態(固体，気体など)は，書かないこと。

問 5　下線部 b)に関連して，②式の反応の平衡定数は，加水分解定数 K_h とよばれる。25 ℃ における H_2CO_3 の第一電離定数 K_1，第二電離定数 K_2 の値がそれぞれ 4.5×10^{-7} mol/L および 4.7×10^{-11} mol/L のとき，②式の加水分解定数 K_h の値〔mol/L〕を求め，その数値を有効数字2桁で解答欄に書け。

問 6　空欄 ［ ア ］ に当てはまる文字式を K_1，K_2，および[H^+]を用いて表せ。

問 7　下線部 a)に関して，溶解平衡にある水溶液において $CaCO_3$ のモル濃度を S〔mol/L〕とすると，$S = [Ca^{2+}]$ [イ] C となる。したがって，$CaCO_3$ の溶解度積 K_{SP} は，S，$X_{CO_3^{2-}}$ を用いて，下の⑥式で表される。

$$K_{SP} = \boxed{\text{ウ}} \qquad ⑥$$

(1)　S〔mol/L〕と全炭酸濃度 C〔mol/L〕はどのような関係にあるか。空欄 [イ] にあてはまる等号または不等号を下記の選択肢 (a) から (c) の中から 1 つ選び，その記号を○で囲め。

(a)　$=$　　(b)　$>$　　(c)　$<$

(2)　空欄 [ウ] にあてはまる文字式を S および $X_{CO_3^{2-}}$ を用いて書け。

(3)　下線部 a)の水溶液に酸を加えて pH の値を調節した。このとき，水溶液中に $CaCO_3$ の沈殿が存在していた。pH 8.0 と pH 7.0 のときの $X_{CO_3^{2-}}$ の値は，それぞれ 5.0×10^{-3} および 5.0×10^{-4} であるとする。pH が 8.0 から 7.0 に低下したときの S〔mol/L〕の変化量 ΔS〔mol/L〕を計算し，S が増加したときは＋，減少したときは－ の符号をつけて，その数値を有効数字 2 桁で解答欄に書け。ただし，25 ℃ での $CaCO_3$ の溶解度積 K_{SP} は，$5.0 \times 10^{-9}(\text{mol/L})^2$ であるとする。また，必要であれば，$\sqrt{10} = 3.16$ として計算してよい。

2 次の文章〔Ⅰ〕から〔Ⅲ〕を読み，問1から問11に答えよ。

〔Ⅰ〕 周期表で一番目の元素である水素は，水や有機化合物の構成元素である。単体の水素は，無色・無臭の気体であり，実験室では金属と酸との反応[a]や金属と強塩基との反応[b]，あるいは水の電気分解などによって発生させることができる。工業的には，ニッケルを触媒とし，石油や天然ガスを高温の水蒸気と反応させる[c]ことで得られる。水素はさまざまな元素との化学結合により化合物を作ることができる。たとえば，非金属元素であるリンとは［ア］結合で結びつき，陽性の強い元素であるリチウムやナトリウムとは［イ］結合で結びつく。水素は，アンモニアやメタノールなどの工業的に重要な化合物の合成に用いられ，ロケットや燃料電池[d]の燃料などエネルギー関連分野でも利用されている。

問 1 水素の元素または単体に関する次の(a)から(e)の記述の中から正しいものをすべて選び，解答欄の記号を○で囲め。

(a) 宇宙ではヘリウムの次に多く存在する元素である。

(b) 標準状態にあるすべての気体の中で最も密度が小さい。

(c) 沸点は，常圧下においてすべての貴ガスよりも低い。

(d) 同位体である重水素は，原子核1個あたり2個の中性子を含む。

(e) 水への溶解度は二酸化炭素より小さい。

問 2 下線部a)に関して，塩酸との反応で水素を発生する金属を，次の(a)から(e)の中からすべて選び，解答欄の記号を○で囲め。

(a) **Cu** (b) **Al** (c) **Fe** (d) **Au** (e) **Zn**

問 3　下線部 b)に関して，単体のアルミニウムを水酸化ナトリウム水溶液に加えたところ水素が発生した。この反応を，イオンを含まない化学反応式で書け。

問 4　下線部 c)に関して，天然ガスの主成分であるメタンを高温の水蒸気と反応させることにより水素を発生させることができる。0.40 g のメタンから発生した水素の標準状態での体積〔L〕を求め，その数値を有効数字 2 桁で解答欄に書け。ただし，使用したメタンはすべて反応し，水素以外の生成物は一酸化炭素のみとする。また，気体は理想気体としてふるまうものとする。

問 5　空欄 [ア] および [イ] に入る最も適切な語句を，次の (a) から (d) の中からそれぞれ選び，解答欄の記号を○で囲め。

(a)　イオン　　(b)　水素　　(c)　金属　　(d)　共有

問 6　下線部 d)に関して，図 1 に示すように，水素と酸素を活物質とし，電解質溶液にリン酸水溶液を用いたリン酸形燃料電池がある。両電極には白金触媒を含む多孔質の炭素板などが用いられ，負極には気体 I，正極には気体 II が導入される。気体 I は［ ウ ］であり，負極で［ エ ］される。気体 II は［ オ ］であり，正極で［ カ ］される。これらの反応により全体として電気が流れ，化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出すことができる。

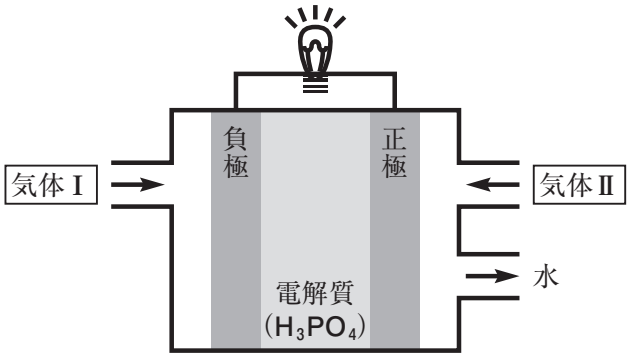


図 1

(1)　空欄［ ウ ］から［ カ ］に入る最も適切な語句の組み合わせを，次の (a) から (d) の中から選び，解答欄の記号を○で囲め。

	［ ウ ］	［ エ ］	［ オ ］	［ カ ］
(a)	酸素	酸化	水素	還元
(b)	酸素	還元	水素	酸化
(c)	水素	酸化	酸素	還元
(d)	水素	還元	酸素	酸化

(2)　正極で起こる反応を，電子を含むイオン反応式で書け。

(3)　この燃料電池の正極において，気体 II が標準状態に換算して 11.2 L 消費されたとき，それまでに得られた電気量〔C〕を求め，その数値を有効数字 3 桁で解答欄に書け。ただし，正極では (2) で示した反応のみが進行したものとし，気体は理想気体としてふるまうものとする。

〔Ⅱ〕 周期表の3族から12族に位置する遷移元素の単体や化合物は，触媒の原料や合金などさまざまな用途がある。遷移元素は複数の酸化数をとる(e)ものが多く，化合物としては，酸化物やハロゲン化物，硫酸塩などが広く知られている。また，遷移元素の単体や化合物には酸と反応して気体を発生する(f)ものがある。

問 7　遷移元素に関する次の(a)から(f)の記述の中から正しいものをすべて選び，解答欄の記号を○で囲め。

(a)　遷移元素のイオンを含む水溶液はすべて特有の色をもつ。
(b)　過マンガン酸カリウムおよび酸化マンガン(Ⅳ)は，酸性水溶液中でどちらも酸化剤として働き，マンガン(Ⅱ)イオンを生じる。
(c)　ダニエル電池では，負極に銅が，正極に亜鉛が用いられる。
(d)　銀は熱伝導率と電気伝導率が金より小さい。
(e)　鉄は金属元素ではアルミニウムの次に地殻中に多く存在する。
(f)　白金は熱濃硫酸や硝酸に溶けないが，王水には溶ける。

問 8　下線部e)に関して，二クロム酸カリウムが硫酸酸性水溶液中で酸化剤として働くときの反応を，電子を含むイオン反応式で書け。

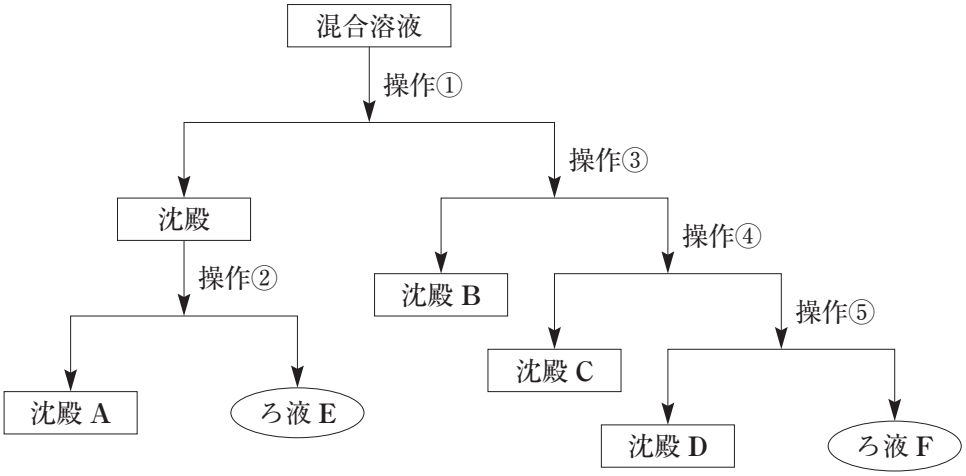
問 9　下線部f)に関して，次の(1)および(2)に答えよ。

(1)　銅に濃硝酸を加えると気体が発生する。この反応を，イオンを含まない化学反応式で書け。

(2)　(1)の反応において発生する気体の捕集法として最も適切な方法を，次の(a)から(c)の中から選び，解答欄の記号を○で囲め。

(a)　水上置換　　(b)　上方置換　　(c)　下方置換

〔Ⅲ〕 複数の金属イオンを含む混合溶液から各金属イオンを分離することを系統分析という。ここでは，6つの金属イオン(K^+，Ag^+，Ba^{2+}，Fe^{3+}，Zn^{2+}，Pb^{2+})を含む混合溶液(水溶液)に，①から⑤の操作を行うことにより，各金属イオンを完全に分離することができたとする。



操作①　希塩酸を加える。

操作②　熱水を加える。

操作③　ろ液に，過剰量のアンモニア水を加えて塩基性にする。

操作④　ろ液に，硫化水素を通じる。

操作⑤　ろ液に，炭酸アンモニウム水溶液を加える。

問10　沈殿 **A** から **D** の化学式を，それぞれ解答欄に書け。

問11　ろ液 **E** および **F** に含まれるイオンを，次の(a)から(f)の中からそれぞれ選び，解答欄の記号を○で囲め。

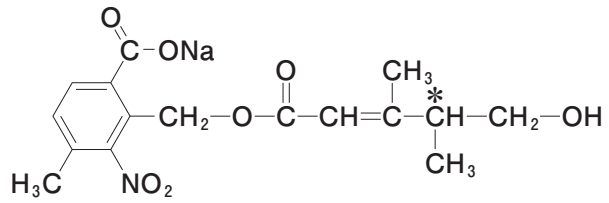
(a)　K^+　　(b)　Ag^+　　(c)　Ba^{2+}　　(d)　Fe^{3+}　　(e)　Zn^{2+}

(f)　Pb^{2+}

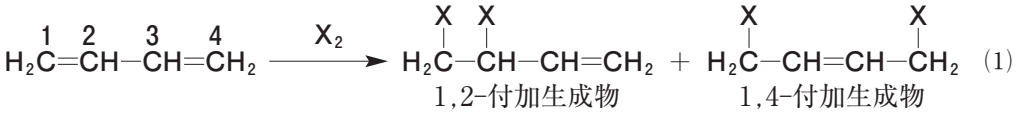
―――このページは白紙―――

3　分子量 450 以下の化合物 **A** がある。以下の実験 1 から実験 14 に関する記述を読み，問 1 から問 9 に答えよ。構造式や不斉炭素原子の表示(＊)を求められた場合には下記の例にならって書け。なお，立体異性体に関してシス-トランス異性体および不斉炭素原子に由来する立体異性体は区別しない。

(例)



1,3-ブタジエンのような 2 つの二重結合が 1 つの単結合を介して連結した化合物に，同じ物質量のハロゲン X_2 を反応させると付加反応が進行する。この反応では，条件により 1 つの二重結合にハロゲン X_2 が付加した 1,2-付加生成物だけでなく，2 つのハロゲン原子 **X** がそれぞれ 1,4 番目の炭素と結合し二重結合が中央に移動した 1,4-付加生成物も得られることが知られている(式(1))。1,3-ブタジエンへの臭素の付加反応では 1,2-付加生成物と 1,4-付加生成物が生成するが，その生成比は反応条件に依存する。



(1)

実験 1　化合物 **A** 0.978 mg を完全に燃焼させたところ，二酸化炭素 2.640 mg，水 0.594 mg のみが得られた。

実験 2　化合物 **A** を塩基性条件下で完全に加水分解し中和したところ，化合物 **B**，**C**，**D** が得られた。

実験 3　化合物 **B**，**C**，**D** の混合物に，飽和炭酸水素ナトリウム水溶液とジエチルエーテルを加え振り混ぜたところ，エーテル層 1 と水層 1 に分かれた。水層 1 を分離し希硫酸を加え酸性にしたところ，化合物 **B** の結晶が析出した。次にエーテル層 1 に水酸化ナトリウム水溶液を加え振り混ぜたところ，エーテル層 2 と水層 2 に分かれた。水層 2 を分離し希硫酸を加え酸性にした後，ジエチルエーテルで抽出したところ，化合物 **C** が得られた。

実験 4　化合物 **E**，**F** は互いに異性体の関係にある分子量 160 未満の芳香族化合物である。1.20 mg の化合物 **E** を完全に燃焼させたところ，二酸化炭素 3.96 mg，水 1.08 mg のみが生成した。

実験 5　化合物 **E** を過マンガン酸カリウムで酸化したところ，ベンゼン環に結合したすべての炭化水素基が酸化された化合物 **B** が生成した。

実験 6　化合物 **F** を酸素で酸化して得られた化合物 **G** に硫酸を作用させたところ，化合物 **C** と 3 つの炭素原子を含む化合物 **H** が生成した。

実験 7　化合物 **E** に濃硝酸，濃硫酸を加え反応させて得られた生成物のうち，ベンゼン環の 1 カ所のみがニトロ化された化合物には 2 種類の異性体が存在した。

実験 8　化合物 **F** に濃硝酸，濃硫酸を加え反応させて得られた生成物のうち，ベンゼン環の 1 カ所のみがニトロ化された化合物の 1 つを化合物 **I** とする。化合物 **I** のベンゼン環の 1 つの水素を塩素に置換した化合物には，2 種類の異性体が考えられる。化合物 **I** に鉄粉，塩酸を加え加熱したところ，化合物 **J** が得られた。

実験 9　化合物 **J** に塩酸を加え氷冷し，亜硝酸ナトリウム水溶液を加えたところ，化合物 **K** が生成した。化合物 **C** に水酸化ナトリウム水溶液を加えて得られた塩と化合物 **K** を反応させたところ，化合物 **L** が得られた。

実験10　化合物 **D** および **H** それぞれにヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加え加熱したところ，黄色の沈澱が得られた。

実験11　化合物 **D** を濃硫酸と加熱したところ，アルケン **M** がシス–トランス異性体混合物として得られた。アルケン **M** に塩化水素を付加させたところ，ハロゲン化アルキル **N** が得られた。**N** は不斉炭素原子をもたなかった。

実験12　アルケン **M** に臭素を反応させたところ，アルケン **M** よりも分子量が 159. 8 だけ大きな化合物 **O** が得られた。

実験13　化合物 **O** から 2 分子の臭化水素を脱離させることにより得られ，分子内に 2 つの二重結合が 1 つの単結合を介して連結した構造(C=C–C=C)を有する化合物 **P**，**Q** をそれぞれ適切な方法で合成した。化合物 **P** に同じ物質量の臭素を 1,4–付加反応させたところ，不斉炭素原子をもつ化合物 **R** が得られた。

実験14　化合物 **P** または化合物 **Q** は，同じ物質量の臭素との付加反応で，2 つの不斉炭素原子をもつ化合物 **S** を生成物の 1 つとして与えた。

問 1　化合物 **A** の分子式を書け。

問 2　化合物 **E**，**F** の分子式を書け。

問 3　化合物 **E** の構造式を書け。

問 4　化合物 **G**，**H** の構造式を書け。

問 5　化合物 **K**，**L** の構造式を書け。

問 6　実験 8 の下線部の反応をイオンを含まない化学反応式で書け。鉄は塩化鉄(Ⅲ)へと変化するものとする。有機化合物については構造式で示すこと。

問 7　化合物 **M**，**N** の構造式を書け。

問 8　化合物 **A** の構造式を書け。不斉炭素原子には＊印をつけよ。

問 9　化合物 **R**，**S** の構造式を書け。不斉炭素原子には＊印をつけよ。

———このページは白紙———

———このページは白紙———

生　　物

1　次の〔Ⅰ〕～〔Ⅳ〕の文章を読み，以下の問(1)～(10)に答えよ。

〔Ⅰ〕　細胞の機能は，さまざまな細胞小器官(a)のはたらきにより維持されている。核は［　ア　］に囲まれており，この［　ア　］には多くの分子が通過する多数の［　イ　］がある。核の内部には，染色体やリボソーム RNA などが合成される１～数個の［　ウ　］がある。

問(1)　文章内の［　ア　］～［　ウ　］に適切な語句を記入せよ。

問(2)　下線部(a)の細胞小器官について，以下の①～④の中から誤っているものを１つ選び，その番号を記せ。

①　液胞は植物細胞で発達しており，内部が細胞液で満たされ，代謝産物の貯蔵や浸透圧の調節などに機能する。

②　ゴルジ体はリボソームで合成されたタンパク質を細胞外に輸送し，タンパク質に糖鎖を付加する。

③　リソソームはゴルジ体から生じ，分解酵素を含んでおり，オートファジーに関与する。

④　葉緑体は藻類と植物細胞にあり，内部には袋状のチラコイドが積み重なっており，チラコイドが積み重なった構造をストロマという。

問(3)　細胞小器官は，一重の生体膜を持つ構造体と二重の生体膜を持つ構造体に分けられる。一重の生体膜を持つ構造体の名称を３つ記せ。

〔Ⅱ〕 細胞骨格は，細胞内の繊維状の構造で，細胞の形の形成，細胞小器官の動き，細胞分裂時の染色体の動き，細胞質分裂，細胞接着，筋収縮などの機能に役割を果たす。主な細胞骨格には，アクチンフィラメント，［　エ　］，微小管(b)がある。

微小管は，間期には核の近くにある［　オ　］を起点として細胞全体に広がっているが，分裂期には［　オ　］とともに紡錘体の形成にはたらく。紡錘体の微小管は，分裂期において染色体に形成される［　カ　］というタンパク質複合体を介して染色体に結合する。

問(4)　文章内の［　エ　］～［　カ　］に適切な語句を記入せよ。

問(5)　下線部(b)の構造について，構成因子の名称とともに概略図を示した上で，2行以内で説明せよ。

〔Ⅲ〕 細胞周期は，G1期(DNA合成準備期)，S期(DNA合成期)，G2期(分裂準備期)，M期(分裂期)からなる。M期はさらに前期，中期，後期，［　キ　］からなる。

S期のDNAの複製では，DNAの2本鎖のそれぞれが新しく合成された鎖と結合し，2組の2本鎖になる。このうち一方の鎖は，複製されたDNAである2本鎖DNAが娘細胞に受け継がれる。このような複製を［　ク　］という。

この過程では，まず［　ケ　］によって，［　コ　］とよばれるDNAの特定の部分が開裂する。さらに，プライマーという短いRNA鎖が結合し，その3'末端側に，［　サ　］によってDNAのヌクレオチド鎖が伸長する。連続的に合成されるヌクレオチド鎖を［　シ　］といい，不連続に合成される鎖を［　ス　］という。［　ス　］では，複数の短いヌクレオチド鎖が断続的に合成される。これは，［　セ　］とよばれる。プライマーが除去された後，切れ目は［　ソ　］という酵素で連結される。

問(6)　文章内の［　キ　］～［　ソ　］に適切な語句を記入せよ。

問(7)　DNA を構成する塩基のうち，アデニンの割合が 26 % のとき，グアニンの割合は何%か，その数値を記せ。

問(8)　増殖している細胞集団を対象として，DNA と結合して蛍光を発する色素で染色し，それぞれの細胞が発する蛍光の強さを測定した。細胞当たりの DNA 量と細胞数の関係を図 1 に示した。このグラフについて，以下の(i)～(iii)の問いに答えよ。

(i)　細胞周期の S 期，G2 期の細胞は，グラフのどの領域に含まれるか，それぞれ A～C の記号で答えよ。

(ii)　この細胞集団では，どの細胞周期が最も長いと考えられるか，細胞周期の名称を記せ。

(iii)　細胞質分裂に異常が生じた場合，図 1 はどのようなグラフになると考えられるか，変化したグラフの特徴を，その理由とともに 2 行以内で説明せよ。

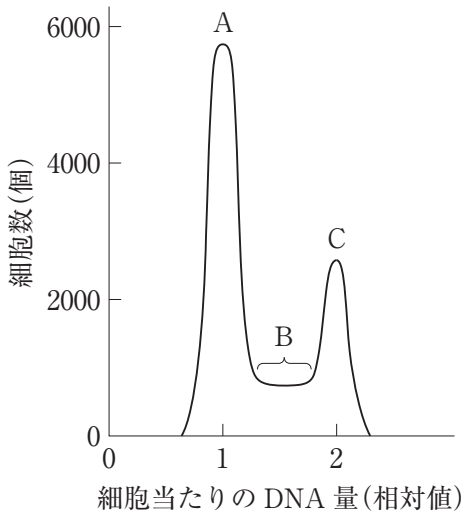


図 1

〔Ⅳ〕 真核生物では，核の DNA は染色体に分納されている。ヒトの細胞では，通常 [タ] 本の常染色体と 2 本の性染色体がある。染色体では，DNA(c) はタンパク質に結合して，最も基本的な単位である [チ] という小さく折りたたまれた構造をとっており，さらにこれらが折りたたまれて圧縮されたクロマチンという構造をとっている。体細胞において，大きさと形が同じで対になって存在する染色体を [ツ] という。

問(9) 文章内の [タ] ～ [ツ] に適切な数値もしくは語句を記入せよ。

問(10) 下線部(c)について，[チ] の構造を，構成タンパク質の名称とともに概略図を示した上で，2 行以内で説明せよ。

2 次の〔Ⅰ〕，〔Ⅱ〕の文章を読み，以下の問(1)〜(8)に答えよ。

〔Ⅰ〕 皮膚は刺激を受け取る感覚受容器の１つである。皮膚への刺激により生じた興奮は，感覚ニューロン(a)を介して［ ア ］から脊髄に入り，さらに脊髄(b)の［ イ ］を通って脳へと伝えられる。これにより，触覚・圧覚(c)，温度覚(d)（温覚・冷覚），［ ウ ］といった皮膚感覚が，刺激の種類に応じて生じる。

また，感覚ニューロンは脊髄のニューロンともシナプスを形成し，脳を介さずに皮膚からの興奮を筋肉へと伝える。これにより，私たちは指先に熱いものがふれたときに，意識とは無関係にすばやく手を引っ込めることができる(e)。これは［ エ ］反射とよばれる。このように意識とは無関係に起こる反応は，膝蓋腱反射のように骨格筋が急に引き伸ばされたときにも起きる。このとき，骨格筋が伸び，これを［ オ ］が受容して感覚ニューロンが興奮する。

問(1) 文章内の［ ア ］〜［ オ ］に適切な語句を記入せよ。

問(2) 下線部(a)について，感覚ニューロンの軸索の太さは，伝達する感覚情報によって異なる。触覚は，太い有髄神経繊維 A（直径 6 〜12 μm）により伝えられる。温度覚は，細い有髄神経繊維 B（直径 1 〜 5 μm）と，無髄神経繊維 C（直径 0.2〜1.5 μm）により伝えられる。これら 3 種類の神経繊維 A，B，C を，活動電位の伝導速度が速い順に並べよ。

問(3)　下線部(b)について，以下の(i)，(ii)の問いに答えよ。

(i)　触覚を伝える感覚ニューロンの興奮は，入力側の脊髄を通って脳に向かって伝わる。一方，温度覚を伝える感覚ニューロンからの興奮は，脊髄に入ってただちに交差し，反対側の脊髄を通って反対側の脳へと伝わる。実験動物(マウス)において，首の脊髄の右側を損傷した場合に引き起こされる触覚と温度覚の異常について，正しく述べた文章を以下の①～④の中から1つ選び，その番号を記せ。

①　右半身の触覚と温度覚に障害が起こる。
②　右半身の触覚と左半身の温度覚に障害が起こる。
③　左半身の触覚と右半身の温度覚に障害が起こる。
④　左半身の触覚と温度覚に障害が起こる。

(ii)　マウスが首の脊髄の右側を損傷した場合，右の大脳半球に位置する皮膚感覚の感覚野はどのような刺激により興奮するのか，最も適切な刺激を以下の①～④の中から1つ選び，その番号を記せ。

①　右半身への物理的な刺激
②　右半身への温度刺激
③　左半身への物理的な刺激
④　左半身への温度刺激

問(4)　下線部(c)について，触覚は接触などに伴う皮膚の変形により生じる。このように，感覚細胞の物理的な変形によって生じる感覚を，以下の①～⑤の中から選び，その番号を記せ(複数選択可)。

① 視覚
② 嗅覚
③ 聴覚
④ 味覚
⑤ 平衡覚

問(5)　下線部(d)の温度覚に関わるイオンチャネルは，2021年にノーベル生理学・医学賞を受賞したデビッド・ジュリアス博士らの研究グループにより発見された。ジュリアス博士らは，ハッカやミントに含まれる成分として知られているメントールに反応するイオンチャネルである膜タンパク質TRPM8を同定した。

TRPM8は，温度変化に対しても反応して開くイオンチャネルである。このことを調べた実験の模式図を図1に示す。この実験では，TRPM8を発現する細胞を培養液の中に入れ，培養液の温度を変化させた。このとき，微小な記録電極を細胞に挿入し，細胞膜を通る電流を計測した。その結果，TRPM8を発現する細胞において温度変化に応じた電流が図2のように記録された。

メントールが含まれる食品や薬品には，ひんやりと感じさせる効果がある。なぜメントールにより冷感が生じるのか，図2から読み取れるTRPM8の反応をもとに，4行以内で説明せよ。

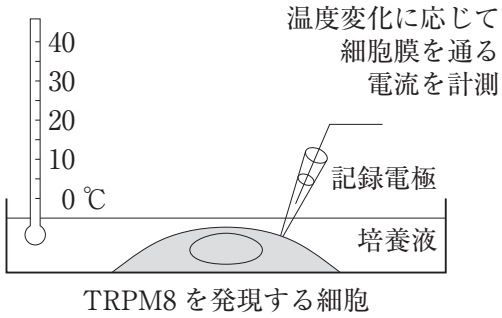
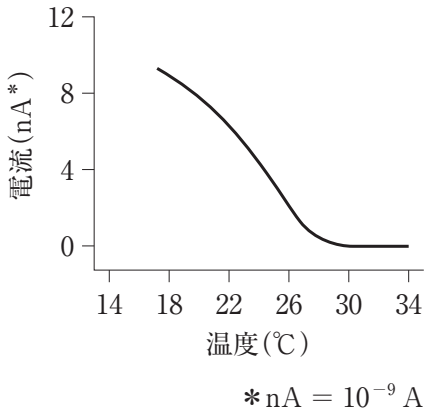


図1



＊nA ＝ 10^{-9} A

図2

問(6)　下線部(e)は，熱いものにふれたことにより，指先で生じた興奮が腕の筋肉に伝わることで起きる。どのような経路を通って興奮が伝わり，手を引くという運動を引き起こすのか，以下の4つのキーワードをすべて用いて6行以内で説明せよ。ただし，キーワードのうち，伸筋はひじを伸ばす筋肉を，屈筋はひじを曲げる筋肉をそれぞれ指し，興奮性と抑制性の介在ニューロンは，どちらも脊髄の介在ニューロンを指すこととする。

＜キーワード＞
伸筋，屈筋，興奮性の介在ニューロン，抑制性の介在ニューロン

〔Ⅱ〕　皮膚感覚を処理する感覚野(体性感覚野)は，体の特定の部位からの入力を受け取る。たとえば，手に物がふれると，手に対応する感覚野が興奮する。このように体の特定の部位と脳の特定の領域が1対1に対応することから，(f)体の部位に対する地図(体部位局在地図)を体性感覚野に描くことができる。

体性感覚野だけでなく，視覚情報を処理する感覚野(視覚野)においても，網膜と点対点の対応関係を持つ地図が存在する。また，(g)聴覚情報を処理する感覚野(聴覚野)にも，音に対するうずまき管の基底膜の反応に対応する地図が存在する。

問(7)　下線部(f)について，体性感覚野における体部位局在地図を図3に示す。図3(右)は左半球の体性感覚野の断面図を示しており，それぞれの領域のニューロンは，その上に描かれた体の部位からの入力に対して最も強く興奮する。図3から考えられる体部位局在地図の説明として正しいものを，以下の①～④の中から1つ選び，その番号を記せ。

① 脚など筋肉量の多い部位は，体性感覚野において体の面積に比べて相対的に広い面積を占める。

② 体の表面積の大きい部位ほど，体性感覚野において広い面積を占める。

③ 触覚が鋭敏な指や手に対応する領域は，体性感覚野において体の面積に比べて相対的に広い面積を占める。

④ 頭部から遠い体の部位ほど，体性感覚野において広い面積を占める。

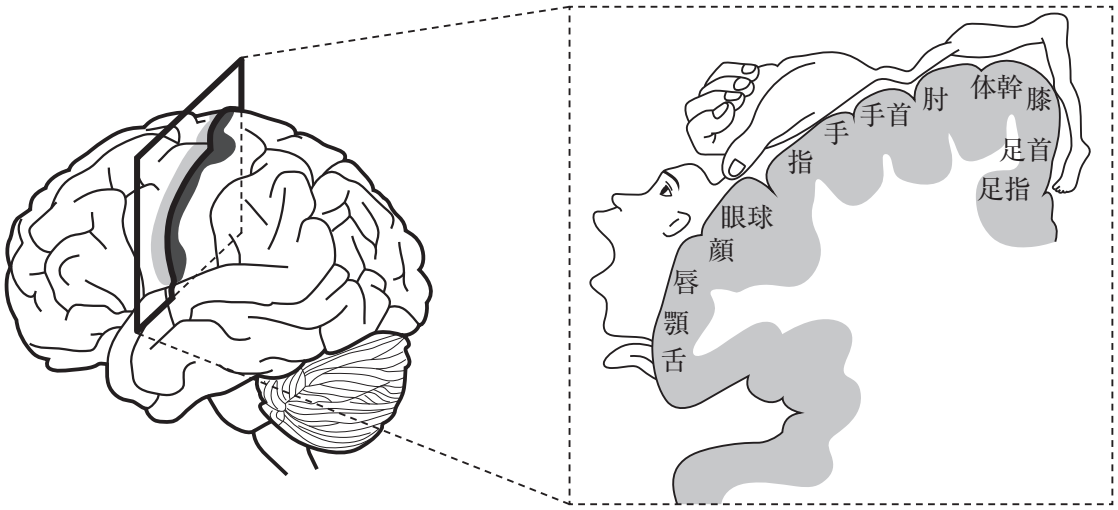


図3

問(8)　下線部(g)について，以下の(i)，(ii)の問いに答えよ。

(i)　うずまき管の基底膜は，卵円窓からの距離に応じて，異なる音の特性に対して振動する。また，うずまき管の基底膜が振動した位置に応じて，聴覚野の異なる部位が興奮する。このとき，聴覚野は音のどのような特性に対して興奮するのか，以下の①～④の中から最も適切なものを１つ選び，その番号を記せ。

①　音の大きさ
②　音が聞こえる方向や位置
③　音のリズム
④　音の高低

(ii) 加齢により，うずまき管の聴細胞が脱落すると耳が聞こえにくくなるが，音の部位局在地図を利用した人工内耳を用いることで，聴力をある程度回復することができる。人工内耳の装置の模式図を図 4 に示す。人工内耳の外部装置は，小型マイクでとらえた音を電気信号に変換し，その信号を皮下に埋め込まれた受信器に送る。受信器からのデジタル信号は，細いケーブルでうずまき管内の電極配列へと送られる。うずまき管内に置かれた電極からの電流により，うずまき管の特定の位置の聴神経を刺激することができる。小型マイクでとらえた音に対して，どのようにうずまき管を電気刺激することで，振動数の異なる音の情報を脳に伝えることができるのか，3 行以内で説明せよ。

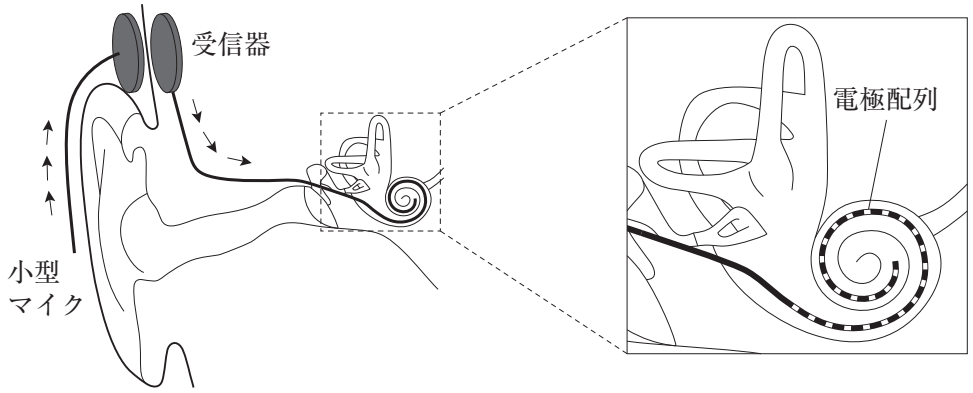


図 4

3 次の文章を読み，以下の問(1)〜(6)に答えよ。

約35億年前の地球大気にはO_2がほとんどなく，多くはCO_2などで占められていたと考えられている。そうした環境の中で，海底の熱水噴出孔付近で光に依存しないで炭酸同化を行う硫黄細菌や鉄細菌，硝化菌(a)などの［ア］細菌が現れた。一方，赤外線がわずかに届くところでは，太陽光を利用して炭酸同化を行う細菌も誕生した。それらの細菌には［イ］とよばれる光合成色素が存在しており，［ウ］からH^+と電子を得るしくみがあった。

約27億年前になると，［エ］からO_2を発生する光合成を行う原核生物が現れた。やがて地球のO_2濃度は徐々に上昇し，O_2を利用する好気性生物が繁栄するようになった。

20億〜15億年前になると，ミトコンドリアや葉緑体をもった真核生物(b)が誕生した。光合成を行う真核生物の繁栄によって，それまでは0.1〜1％程度であったO_2濃度はさらに大きく上昇し，成層圏に［オ］を形成するとともに，やがて現在の大気O_2濃度(約21％)になった。［オ］は太陽から降り注ぐ紫外線を吸収するため，陸上は生物の生活できる環境となり，まず植物が，続いて動物が上陸した。大気のCO_2濃度は，植物のCO_2固定(c)によって大きく減少した。上陸した植物は豊富な太陽光を巧みに利用(d)して光合成を行い，大気中のCO_2濃度は約280 ppm(＝0.028％)まで減少して平衡状態(e)となった。

問(1)　文章内の［ア］〜［オ］に適切な語句を記入せよ。

問(2)　下線部(a)に関連して，硝化菌は現在も多く生存し，地球生態系の窒素の循環において重要な役割を果たしている。その役割と，窒素が生態系内を循環する反応・形態について，以下の6つのキーワードをすべて用いて7行以内で記せ。

＜キーワード＞
アンモニウムイオン(NH_4^+)，硝酸イオン(NO_3^-)，窒素ガス(N_2)，窒素同化，脱窒素細菌，窒素固定細菌

問(3)　下線部(b)に関連して，真核生物のミトコンドリアや葉緑体は，好気性細菌やO_2発生の光合成を行う原核生物が宿主細胞に取り込まれて生じたと推定する学説がある。この学説について，以下の(i)，(ii)の問いに答えよ。

(i)　このような学説を何というか記せ。

(ii)　その学説の根拠とされる細胞小器官が有する機能の特徴を2つ記せ。

問(4)　下線部(c)に関連して，次の文章を読み，以下の(i)〜(iii)の問いに答えよ。

光合成生物のCO_2固定反応は，酵素ルビスコが触媒となって生ずる反応である。このルビスコはO_2も基質として取り込む反応も促進し，O_2はCO_2を固定する活性部位と同じ部位に結合して反応する。そのため，ルビスコによって促進されるCO_2の固定反応は，O_2の存在によって阻害を受ける。

(i)　このような酵素反応の阻害を何というか記せ。

(ii)　O_2が21 %存在する場合のルビスコが促進するCO_2固定反応速度とCO_2濃度との関係を示す図として，図1の①〜⑤の中から最も適切なものを1つ選び，その番号を記せ。

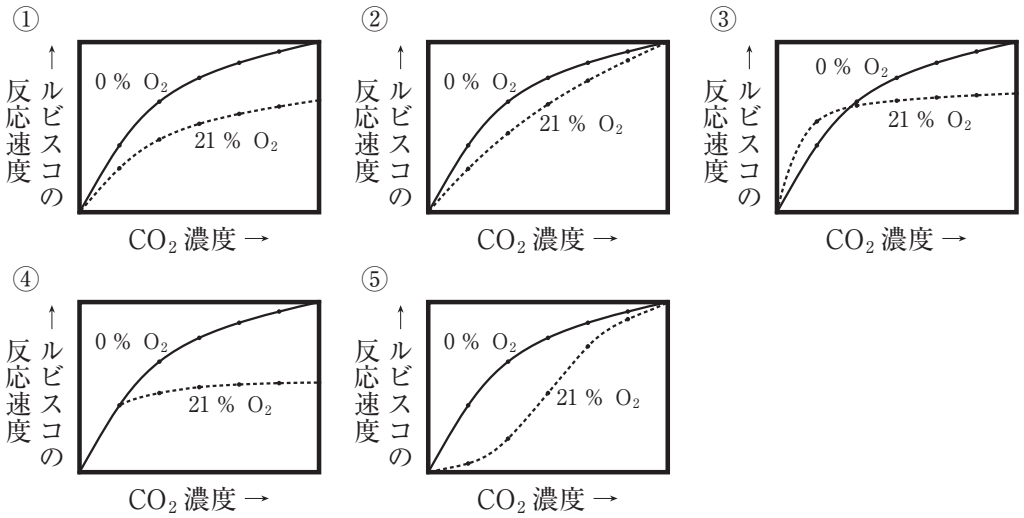


図1

(iii)　現在の植物の光合成速度(CO_2吸収速度)は，葉緑体をもった真核生物が出現した時代と比較して，ルビスコの反応によってより強く制限されていると推定されている。その理由を4行以内で記せ。

問(5)　下線部(d)に関連して，図2は太陽の可視光(400～700 nm 波長)に対する光合成色素の吸収スペクトルと光合成の作用スペクトルを示したものである。以下の(i)～(v)の問いに答えよ。

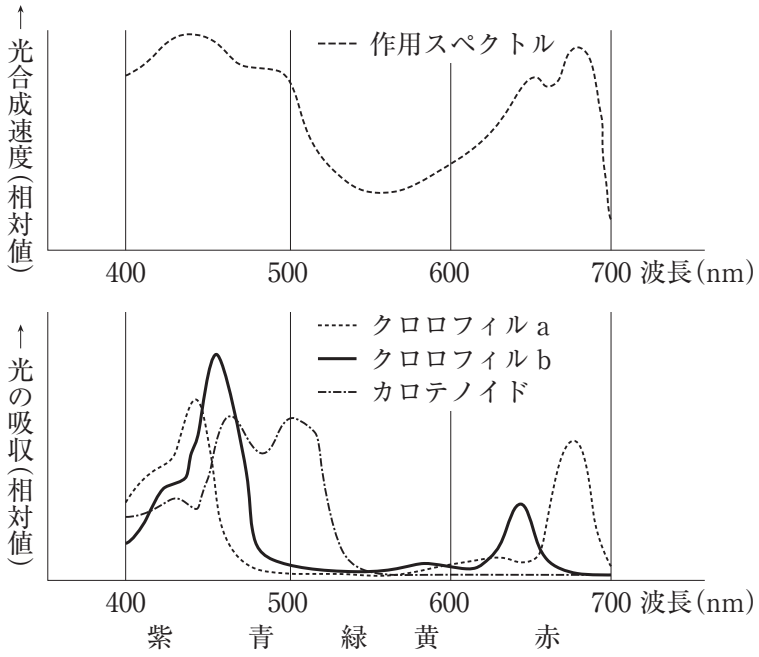


図2

(i)　クロロフィル a は，何とよばれる色素タンパク質複合体に存在するのか，その名称を記せ。

(ii)　カロテノイドは，葉緑体の何とよばれる部分に存在するのか，その名称を記せ。

(iii)　植物の葉が緑色に見える理由を，光の反射と吸収のしくみを含めて3行以内で記せ。

(iv) 植物の葉の光合成速度を測定する時，光源として以前は作用スペクトルの効率の高い赤色光のみのLED照明が用いられていたが，青色光のLED照明を10％程度加えると光合成速度が安定して高くなることが示された。その理由を1行で記せ。

(v) 光合成色素の吸収スペクトルと作用スペクトルが必ずしも一致しない理由として，最も適切な記述を以下の①～④の中から1つ選び，その番号を記せ。

① クロロフィルaとクロロフィルbが互いに競争的に光エネルギーを吸収するから。
② クロロフィルとカロテノイドの他に，緑色領域の光を吸収する光合成色素が存在するから。
③ 光合成色素に吸収されにくい波長の光は，葉内深部で屈折と反射を繰り返し，葉緑体に衝突する頻度が増えて光合成に使われるから。
④ カロテノイドがクロロフィルの青色領域の光吸収を妨げるから。

問(6) 下線部(e)に関連して，現在の大気中のCO_2濃度は420 ppmを超えている。地球上の炭素の循環において，どのようなことが起こり，CO_2濃度が上昇し続けているのか，以下の7つのキーワードをすべて用いて7行以内で説明せよ。

＜キーワード＞
光合成，呼吸，生産者，消費者，分解者，森林，化石燃料

―――このページは白紙―――

―――このページは白紙―――

―――このページは白紙―――

地　　学

1　次の文章を読み，以下の問 1 ～ 4 に答えよ。

銀河系に存在する恒星のうち，約半分は連星である。恒星Ａと恒星Ｂ（以下，Ａ，Ｂと記す）からなる連星はケプラーの第 3 法則，

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2}(m_A + m_B)$$

に従って共通重心のまわりを互いに公転する。ここで，Ａ，Ｂの質量を m_A，m_B，平均距離を a，公転周期を P，万有引力定数を G とする。ある連星を地球から観測した結果，以下のことがわかった。

・連星の共通重心の年周視差は 0.01 秒（″）
・連星の公転周期は 11 年
・ＡとＢの平均距離は 11 天文単位
・Ａは主系列星で見かけの等級は 0 等級
・Ｂは，表面温度はＡと等しく，見かけの等級は 15 等級

地球からＡ，Ｂそれぞれまでの距離は，地球から連星の共通重心までの距離に等しいとする。

問 1　地球から連星の共通重心までの距離は何パーセクか答えよ。

問 2　ＡとＢの質量はそれぞれ太陽の何倍か答えよ。太陽の絶対等級は 5 等級とし，主系列星の光度は質量の 4 乗に比例するものとする。また，太陽の質量に比べて地球の質量は無視できるほど小さいとする。

問 3　Ｂの半径はＡの半径の何倍か答えよ。

問 4 「AとBは連星として誕生し，同時に主系列星となったのち，互いに影響を与えずにそれぞれが独立に進化した」という仮説を立てた。しかしこの仮説はAとBの観測結果と矛盾する。どのような矛盾か，6行以内で述べよ。

2 次の文章を読み，以下の問１～４に答えよ。

地球の内部は，構成物質の違いによって地殻・マントル・核に分けられ，大局的には層構造を成している。マントルと核の境界と境界における内部構造の変化については，(a)地震波のＰ波とＳ波の影(シャドーゾーン)を用いて推定することができる。また，地殻とマントルについては，Ｐ波の速度が不連続に増加する境界面で分けることができるが，地殻の構造や性質は大陸地域と海洋地域で異なっている。大陸地域の地殻は厚く，主に［ア］質岩からなる上層と［イ］質岩からなる下層に分けられるのに対し，海洋地域では［ア］質岩からなる上層を欠いており，厚さも薄くなっている。これらの地殻の構造や性質の違いは，(b)火成活動などの多様な過程で大陸地殻が形成・成長してきたためである。

地球の内部構造は，重力を用いることによっても推定することができる。世界各地で重力を測定すると，大陸地域では［ウ］のブーゲー異常が，一方，海洋地域では［エ］のブーゲー異常が観測される。このことは，大陸地域は海洋地域より平均密度が小さい物質からできていることを示している。また，大陸地域と海洋地域は地形的にも異なっており，(c)大陸地域の陸地の平均の高さは，海洋地域の海底の平均の深さに比べて小さい。

問 1　［ア］～［エ］に適切な語句を入れよ。

問 2　下線部(a)に関して，次の問(1)，(2)に答えよ。

(1)　震央距離約 103° から約 143° は，Ｐ波とＳ波の両方が届かない影である。この観測事実から，マントルと核の境界を挟んでＰ波とＳ波の伝わり方がどのように変化すると推定されるか。理由とあわせて 4 行以内で説明せよ。

(2) 震央距離約 143° 以上は，P 波は届くが，S 波は届かない影である。この観測事実から，核がどのような構造をしていると推定されるか。理由とあわせて 3 行以内で説明せよ。

問 3　下線部(b)に関して，プレートの沈み込み帯において火山弧の直下で生じている大陸地殻の形成・成長過程を，次の語句をすべて用いて 6 行以内で説明せよ。

{含水鉱物，部分溶融，流紋岩質マグマ，花こう岩地帯}

問 4　下線部(c)に関して，アイソスタシーが成り立つものとして，大陸地域の陸地の平均の高さは何 m か，有効数字 2 桁で求めよ。計算過程も示せ。ただし，大陸地殻と海洋地殻の厚さをそれぞれ 30.0 km と 7.0 km，海洋地域の海底の平均の深さを 4.0 km とし，大陸地殻，海洋地殻，マントル，海水の密度をそれぞれ 2800 kg/m^3，2900 kg/m^3，3300 kg/m^3，1000 kg/m^3 とする。

3 次の問 1 ～ 4 に答えよ。

問 1　太陽系の惑星のうち，水星・金星・地球・火星を地球型惑星，木星・土星・天王星・海王星を木星型惑星とよぶ。地球型惑星と木星型惑星の違いを，次の語句をすべて用いて 5 行以内で説明せよ。同じ語句をくり返し用いてもよい。

｛岩石，半径，固体，ガス，マントル，平均密度，核，氷｝

問 2　木星型惑星のうち天王星と海王星は，木星や土星に比べて質量が小さな巨大氷惑星である。なぜ，木星や土星のような巨大ガス惑星とならなかったのか，その理由を 4 行以内で説明せよ。

問 3　地球型惑星の金星と地球の現在の大気に関して，次の問(1)，(2) に答えよ。

(1)　大気組成の中で最も割合が高い成分を，金星については解答欄Ａに，地球については解答欄Ｂに，それぞれ分子名で記入せよ。

(2)　金星と地球の表面温度の違いと，その違いが生じる理由をあわせて 3 行以内で説明せよ。

問 4　地球は約 46 億年前に誕生し，その内部は現在も高温である。地球内部の熱源はなにか，4 行以内で説明せよ。

———このページは白紙———

4 次の文章を読み，以下の問１～５に答えよ。

地球は太陽からの放射エネルギーを受けており，主に大気と海水の運動によって，低緯度から高緯度へと熱輸送がおこなわれている。大気や海水の運動に加え，図１に示すような海陸分布などが影響して，(a)降水量や蒸発量は場所により異なる。

(b)熱帯低気圧は海面水温の高い海域で発生するが，コリオリ力の小さい赤道付近ではほとんど発生しない。熱帯低気圧や強い温帯低気圧が沿岸付近を通過すると，(c)海水面が大きく上昇することがある。この現象は高潮とよばれ，沿岸部に浸水をもたらすことがある。

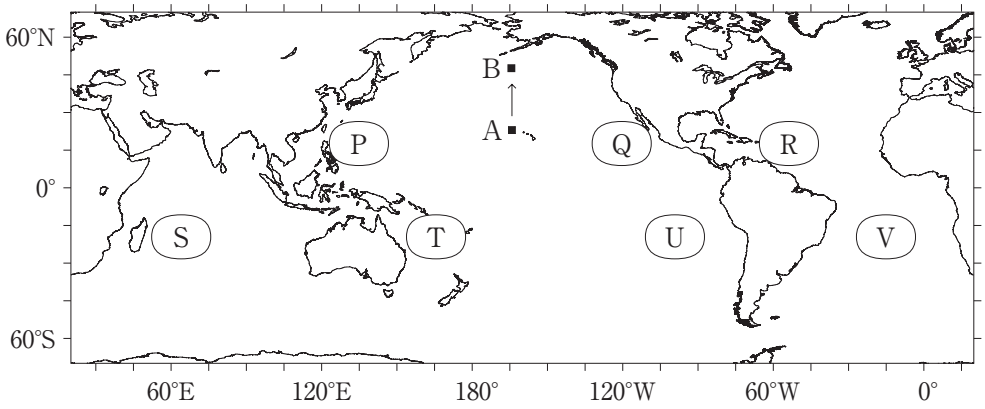


図１

問 1　下線部(a)に関して，図２は，降水量と蒸発量の緯度別分布を示したものである。低緯度に比べて高緯度で蒸発量が小さい理由を１行で説明せよ。

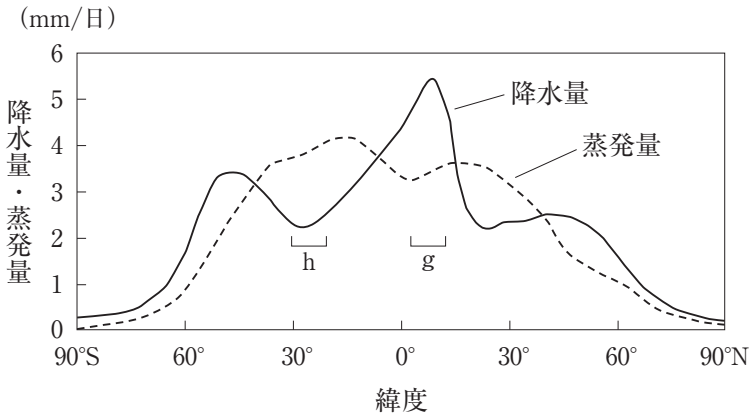


図 2

問 2　図 2 の g において降水量が大きく，h において降水量が小さい理由を，大気の大循環と関係づけて 4 行以内で説明せよ。

問 3　図 1 の地点 A から B に向かって，海洋の表層の塩分はどのように変化すると考えられるか。理由とあわせて 4 行以内で説明せよ。

問 4　下線部(b)に関して，年間を通して熱帯低気圧がほとんど発生しない海域を，図 1 の海域 P ～ V のなかからすべて選び，解答欄に記号で記入せよ。

問 5　下線部(c)に関して，海水面が大きく上昇する理由を 2 つあげ，あわせて 2 行以内で説明せよ。

5 次の図１は，流速と粒径による侵食・運搬・堆積の関係を示した一例である。図１の実線①は静止している粒子が動き始める流速を示し，実線②は動いている粒子が堆積し始める流速を示す。以下の問１～４に答えよ。

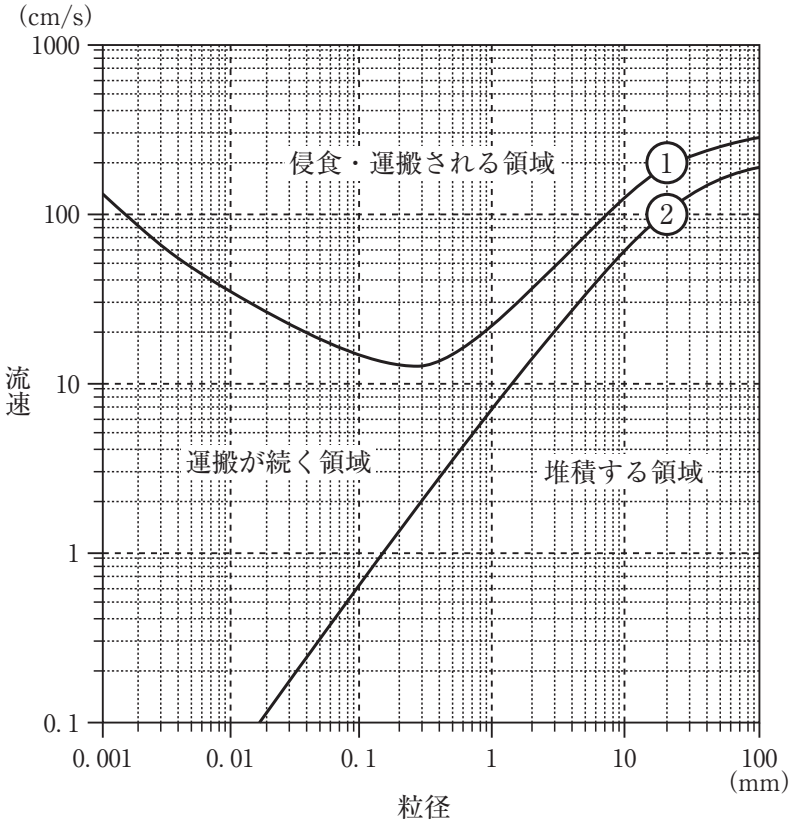


図１

問 1　泥と砂の境界となる粒径を解答欄Aに，砂と礫（れき）の境界となる粒径を解答欄Bに，それぞれ記入せよ。単位は mm とし，分数を用いてもよい。

問 2　図 1 の実線によれば，静止している粒径 0. 003 mm の粒子が動き始める流速の値は，静止している粒径 0. 3 mm の粒子が動き始める流速の値よりも大きい。それはなぜか，2 行以内で説明せよ。

問 3　粒径が 0. 3〜10 mm の粒子からなる堆積物から，粒径が 0. 3〜 3 mm の粒子を集めたい。図 1 の流速と粒径の関係を使って集める方法を 3 行以内で説明せよ。なお，粒子はこわれることで粒径が変化することがないとする。

問 4　タービダイトの形成は，流速と粒径の関係だけでは説明できない。タービダイトはどのような過程で形成されるのか，2 行以内で説明せよ。